Исследование баланса электрических сил между нейтральными телами с атомарной структурой

Цикра Сергей Анатольевич, г. Донецк, Украина.
kgs_2@mail.ru

Показана возможность возникновения дисбаланса электрических сил между нейтральными телами с атомарной структурой вследствие зависимости электрического поля от квадрата тангенциальной скорости зарядов.

1. Особенности взаимодействия движущихся зарядов

В работе [1] получено нерелятивистское инвариантное выражение силы, действующей на инерциальный электрический заряд со стороны других инерциально движущихся зарядов, в виде:

$$F = q\sum_i \left(-\left(1+\frac{u_{Ti}^2}{c^2}\right) grad\varphi_i + \frac{\vec{u}_T}{c^2}\left(\vec{u}_R\, grad\varphi_i\right)\right). \qquad (1)$$

где φ_i – потенциал от каждого заряда в месте нахождения данного заряда;
u_{Ri}, u_{Ti} – радиальная (встречная) и тангенциальная (поперечная) составляющие относительной скорости зарядов:

$$\vec{u}_{Ri} + \vec{u}_{Ti} = \vec{u}_q - \vec{u}_i \ . \qquad (2)$$

В соответствии с этими выражениями, если заряды совершают движение относительно друг друга, то сила их центрального взаимодействия (притяжения или отталкивания):

$$\vec{F}_R = -q\left(1+\frac{u_T^2}{c^2}\right) grad\varphi\,. \qquad (3)$$

увеличивается по сравнению с кулоновской силой между неподвижными зарядами на величину динамической силы, зависящей от потенциала и тангенциальной относительной скорости:

$$\vec{F}_d = \frac{u_T^2}{c^2}\, grad\varphi\,. \qquad (4)$$

Появление дополнительной динамической силы (4) соответствует также классической теории запаздывающего потенциала Лиенара-Вихерта и релятивистской теории поля движущейся заряженной частицы. Поэтому все дальнейшие выводы, сделанные в настоящей работе, соответствуют общепринятым теориям электродинамики [2,3].

2. Взаимодействие неподвижного заряда с гармонически движущимся зарядом

Рассмотрим взаимодействие двух зарядов q_1 и q_2, находящихся на расстоянии r, один из которых совершает гармоническое движение относительно другого. Хотя движение зарядов (или одного из них) неинерциальное, примем, что в каждый момент времени они взаимодействуют с силой, описываемой выражением (1), где скорость воздействующего заряда определяется в «запаздывающий» момент времени $t'=t-r'/c$. Поскольку выражение (1) инвариантно к изменению системы отсчета, неважно, движется в данной системе один из зарядов, или оба – сказывается только их относительное движение. Если это движение является вращением одного заряда по отношению к другому по окружности в плоскости, которая перпендикулярна прямой, соединяющей оба заряда, то $u_T=u$, и сила взаимодействия больше кулоновской силы на постоянную величину:

$$\vec{F}_d = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\frac{u^2}{c^2}.$$

Пусть затем один заряд совершает по отношению к другому поперечные колебания с амплитудой R, или движение по окружности с радиусом R в плоскости, проходящей через оба заряда, причем r >>R. Это условие позволяет принять в первом приближении потенциал и напряженность электрического поля одного заряда в области движения другого заряда неизменными. Тангенциальная относительная скорость зарядов гармонически меняется:

$$u_T = USin(wt);$$

где w – циклическая частота;

$U = wR$ - амплитуда скорости.

В среднем за период колебания или вращения каждый заряд подвержен дополнительной силе, направленной вдоль воздействия электростатической (кулоновской) силы:

$$\widetilde{F}_d = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\frac{U^2}{2\pi c^2}\int\limits_{2\pi} Sin^2(wt)d(wt) = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{U^2}{2c^2}.$$

Можно принять среднеквадратичную скорость $\widetilde{U} = U/\sqrt{2}$, получив при этом:

$$\widetilde{U}^2 = \frac{U^2}{2}; \qquad \widetilde{F}_d = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\frac{\widetilde{U}^2}{c^2}.$$

Если плоскость окружности вращения ориентирована произвольным образом, можно спроецировать ее на плоскость, перпендикулярную соединяющей заряды прямой (ортогональную), и определить тангенциальную скорость для этой проекции траектории, т.е. для эллипса. Вообще любую эллиптическую траекторию (вплоть до колебаний вдоль отрезка прямой) в произвольно ориентированной плоскости нужно спроецировать на ортогональную плоскость, и определять тангенциальную скорость для полученного эллипса. Квадрат тангенциальной скорости будет равен сумме квадратов скорости колебаний вдоль большой и малой осей ортогональной проекции исходного эллипса:

$$u_T^2 = u_1^2 + u_2^2, \tag{5}$$

где $u_1 = U_1 Sin(wt)$; $u_2 = U_2 Cos(wt)$;

$U_1 = wR_1$; $U_2 = wR_2$.

Средняя за период величина квадрата тангенциальной скорости, определяемая соответствующим интегралом, равна:

$$\widetilde{u}_T^2 = \frac{U_1^2}{2\pi}\int\limits_0^{2\pi} Sin^2(wt)d(wt) + \frac{U_2^2}{2\pi}\int\limits_0^{2\pi} Cos^2(wt)d(wt) = \frac{U_1^2}{2} + \frac{U_2^2}{2}; \tag{6}$$

и задает величину соответствующей дополнительной радиальной силы:

$$\widetilde{F}_d = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\frac{\widetilde{u}^2}{c^2}. \qquad (7)$$

Таким образом, дополнительная динамическая сила, в среднем за промежуток времени действующая заряды при их гармоническом относительном движении, пропорциональна средней величине квадрата тангенциальной относительной скорости и направлена вдоль силы электростатического (кулоновского) воздействия, увеличивая ее. Квадрат тангенциальной относительной скорости равен сумме квадратов проекций скорости на оси R_1 и R_2, являющиеся осями эллипса ортогональной проекции траектории.

3. Взаимодействие удаленных зарядов, совершающих гармонические движения.

Если оба заряда движутся по произвольно ориентированным в пространстве эллиптическим траекториям на большом расстоянии к друг от друга, их относительная тангенциальная скорость зависит не только от проекций траекторий на плоскость, перпендикулярную прямой, соединяющей центры траекторий – ортогональную плоскость, но и от частоты, направления движения и взаимного смещения фаз в «запаздывающие» моменты времени $t'=t-r'/c$.

Например, если заряды движутся по круговым траекториям, параллельным ортогональной плоскости, в одном направлении с одинаковой частотой, то при совпадении фазы одного заряда с «запаздывающей» фазой другого их относительная тангенциальная скорость равна нулю и дополнительной силы взаимодействия не возникает:

$$u_T = 0.$$

Если «запаздывающая» фаза другого заряда сдвинута на половину периода (в противофазе), то при одинаковом направлении вращения их относительная тангенциальная скорость постоянная и равна удвоенной скорости вращения:

$$u_T = 2u.$$

Если же направления вращения противоположны, то относительная тангенциальная скорость по величине меняется:

$$u_T = 2uSin(wt + \varphi/2).$$

Среднее значение квадрата тангенциальной скорости и дополнительной силы в последнем случае от сдвига фаз не зависит.

Вернемся к произвольной ориентации эллиптических траекторий зарядов в пространстве. Расстояние r между центрами эллипсов является средним во времени расстоянием между зарядами и не меняется. Можно выбрать такую систему отсчета, в которой отрезок, соединяющий центры эллиптических траекторий, будет неподвижно лежать на оси Z. Для определения тангенциальной скорости зарядов относительно некоторой точки на этом отрезке можно воспользоваться проекциями траекторий на ортогональную плоскость, как это сделано в предыдущем разделе. Пусть R_{11} и R_{12} , а также R_{21} и R_{22} соответственно большие и малые оси ортогональных проекций исходных траекторий зарядов. Пусть оси X и Y выбранной системы координат совпадают соответственно с большой и малой осями проекции траектории первого заряда R_{11} и R_{12}. Квадрат тангенциальной скорости первого заряда относительно точки на оси Z, по выражению (5):

$$u_{T1}^2 = u_{11}^2 + u_{12}^2;$$

где проекции этой скорости на выбранные оси:

$$u_{11} = U_{11} Sin(wt); \qquad u_{12} = U_{12} Cos(wt);$$

$$U_{11} = wR_{11}; \qquad U_{12} = wR_{12}.$$

Большая и малая оси ортогонального эллипса второго заряда составляют с осями X и Y в общем случае некоторый угол α, а фаза его вращения сдвинута на угол φ. Если вращение второго заряда происходит в ту же сторону, что и первого, с той же частотой, составляющие его тангенциальной скорости относительно той же точки на оси Z, выраженные в выбранной системе отсчета, имеют вид:

$$u_{21} = U_{21} Sin(wt+\varphi) Cos\alpha + U_{22} Cos(wt+\varphi) Sin\alpha; \tag{8.1}$$

$$u_{22} = U_{21} Sin(wt+\varphi) Sin\alpha + U_{22} Cos(wt+\varphi) Cos\alpha; \tag{8.2}$$

где

$$U_{21} = wR_{21}; \qquad U_{22} = wR_{22}.$$

Если вращение второго заряда происходит в сторону, противоположную вращению первого, в соответствующих уравнениях меняются знаки *wt*, относящиеся к первому заряду. Тогда проекции тангенциальной скорости одного заряда относительно другого по осям выбранной системы отсчета:

$$u_{T1} = U_{21} Sin(wt+\varphi) Cos\alpha + U_{22} Cos(wt+\varphi) Sin\alpha \mp U_{11} Sin(wt); \tag{9.1}$$

$$u_{T2} = U_{21} Sin(wt+\varphi) Sin\alpha + U_{22} Cos(wt+\varphi) Cos\alpha - U_{12} Cos(wt). \tag{9.2}$$

Поскольку $Sin(-wt) = -Sin(wt)$ (нечетная функция), а $Cos(-wt) = Cos(wt)$ (четная функция), разница в направлении вращения сказывается только на одной проекции относительной тангенциальной скорости.

Квадраты проекций тангенциальной скорости зарядов относительно друг друга:

$$\begin{aligned} u_{T1}^2 &= U_{21}^2 Sin^2(wt+\varphi) Cos^2\alpha + U_{22}^2 Cos^2(wt+\varphi) Sin^2\alpha + U_{11}^2 Sin^2(wt) + \\ &+ \frac{1}{2} U_{21} U_{22} Sin(2(wt+\varphi)) Sin2\alpha \mp 2U_{11} Sin(wt)\left[U_{21} Sin(wt+\varphi) Cos\alpha + U_{22} Cos(wt+\varphi) Sin\alpha\right] \end{aligned} \tag{10.1}$$

$$\begin{aligned} u_{T2}^2 &= U_{21}^2 Sin^2(wt+\varphi) Sin^2\alpha + U_{22}^2 Cos^2(wt+\varphi) Cos^2\alpha + U_{12}^2 Cos^2(wt) + \\ &+ \frac{1}{2} U_{21} U_{22} Sin(2(wt+\varphi)) Sin2\alpha - 2U_{12} Cos(wt)\left[U_{21} Sin(wt+\varphi) Sin\alpha + U_{22} Cos(wt+\varphi) Cos\alpha\right] \end{aligned} \tag{10.2}$$

Среднее за период вращения значение квадратов проекций тангенциальной скорости зарядов относительно друг друга на выбранные оси:

$$\tilde{u}_{T1}^2 = \frac{1}{2}\left[U_{21}^2 Cos^2\alpha + U_{22}^2 Sin^2\alpha + U_{11}^2\right] \mp U_{11} U_{21} Cos\varphi Cos\alpha \pm U_{11} U_{22} Sin\varphi Sin\alpha; \tag{11.1}$$

$$\tilde{u}_{T2}^2 = \frac{1}{2}\left[U_{21}^2 Sin^2\alpha + U_{22}^2 Cos^2\alpha + U_{12}^2\right] + U_{12} U_{21} Sin\varphi Sin\alpha - U_{12} U_{22} Cos\varphi Cos\alpha. \tag{11.2}$$

Среднее за период вращения значение квадрата тангенциальной скорости зарядов относительно друг друга:

$$\tilde{u}_T^2 = \tilde{u}_{T1}^2 + \tilde{u}_{T2}^2;$$

$$\tilde{u}_T^2 = \frac{1}{2}\left[U_{21}^2 + U_{22}^2 + U_{11}^2 + U_{12}^2\right] + (U_{12} U_{21} \pm U_{11} U_{22}) Sin\varphi Sin\alpha - (U_{12} U_{22} \pm U_{11} U_{21}) Cos\varphi Cos\alpha. \tag{12}$$

Таким образом, среднее за период вращения значение квадрата тангенциальной скорости зарядов относительно друг друга зависит от проекций траекторий на ортогональную плоскость, от частоты, направления движения и взаимного смещения фаз, и может лежать в пределах:

$$0 < \tilde{u}_T^2 < 2u^2 .$$

Значит, отношение дополнительной силы к силе кулоновского взаимодействия между зарядами при их взаимном относительном движении тоже может меняться пропорционально отношению $\tilde{u}_T^2 / c^2$, в зависимости от указанных факторов. Случаи, когда это отношение больше единицы, выходят за рамки традиционных физических взглядов, и требуют специального изучения.

4. Взаимодействие парных атомарных систем зарядов

Рассмотрим систему зарядов, подобную двум атомам водорода, расположенных на большом расстоянии r. В каждом атоме вокруг тяжелого неподвижного положительного ядра вращается электрон по орбите радиусом R (R<<r) с циклической частотой w. Эти заряды создают четыре взаимодействия. Силу электростатического отталкивания ядер примем за условную единицу:

$$F_{pp} = -1 .$$

Орбитальный электрон одного атома притягивается к неподвижному ядру другого атома с силой, большей на величину динамической силы (7), что в условных единицах дает;

$$\tilde{F}_{ep} = 1 + \frac{\tilde{u}_T^{\,2}}{c^2} .$$

Другая пара электрон-ядро притягивается с той же силой:

$$\tilde{F}_{ep} = 1 + \frac{\tilde{u}_T^{\,2}}{c^2} .$$

Наконец, орбитальные электроны атомов отталкиваются друг от друга с силой:

$$\tilde{F}_{ee} = -\left(1 + \frac{\tilde{u}_\tau^2}{c^2}\right),$$

где $\tilde{u}_\tau^2$ определяется выражением (12).

Найдем равнодействующую силу:

$$\tilde{F} = \tilde{F}_{pp} + \tilde{F}_{ep} + \tilde{F}_{pe} + \tilde{F}_{ee} = 2\frac{\tilde{u}_T^2}{c^2} - \frac{\tilde{u}_\tau^2}{c^2} . \qquad (13)$$

Проанализируем это выражение при произвольной равновероятной ориентации траекторий электронов. Среднюю тангенциальную скорость электрона относительно стороннего ядра определим по выражению (6), при этом амплитуда U_1 тангенциальной скорости электронов вдоль большой оси проекции траектории на ортогональную плоскость остается неизменной, как и среднее за период значение квадрата скорости:

$$U_1 = wR ; \qquad \tilde{u}_1^2 = w^2 R^2 / 2 = U_1^2 / 2 ;$$

где R – радиус круговой орбиты.

Амплитуда U_2 тангенциальной скорости вдоль малой оси меняется в зависимости от угла γ между нормалью к плоскости траектории и осью Z, проходящей через ядра обоих атомов:

$U_2 = wRCos\gamma$;

Поэтому среднее за период вращения значение квадрата тангенциальной скорости вдоль малой оси ортогональной проекции траектории:

$$\widetilde{u}_2^2 = \frac{U_2^2}{2\pi}\int_0^{2\pi} Cos^2(wt)d(wt) = \frac{w^2R^2}{2}Cos^2\gamma \ ;$$

Ожидаемое значение ее квадрата при равновероятных направлениях (математическое ожидание):

$$\overline{u}_2^2 = \int_0^1 \widetilde{u}_2^2 dp(\gamma);$$

где *dp(γ)* - плотность вероятности того, что нормаль орбиты составляет с осью Z угол γ в интервале dγ.

При произвольной равновероятной ориентации орбит плотность вероятности равна:

$$dp(\gamma) = 0{,}5Sin\gamma d\gamma \ . \qquad (14)$$

Тогда ожидаемое значение квадрата тангенциальной скорости вдоль малой оси ортогональной проекции траектории:

$$\overline{u}_2^2 = \frac{w^2R^2}{4}\int_0^{\pi} Cos^2\gamma Sin\gamma d\gamma = \frac{-w^2R^2}{12}Cos^3\gamma\Big|_0^{\pi} = \frac{w^2R^2}{6} \ .$$

Ожидаемое значение квадрата вероятной тангенциальной скорости электрона относительно стороннего ядра равно сумме квадрата детерминированной составляющей u_1^2 и квадрата вероятной (случайной) составляющей скорости $\overline{u}_2^2$:

$$\overline{u}_T^2 = u_1^2 + \overline{u}_2^2 = \frac{2}{3}w^2R^2 \ . \qquad (15)$$

Квадрат средней за период вращения тангенциальной скорости электронов относительно друг друга в соответствии с выражением (12) зависит от углов α взаимной ориентации осей проекций траекторий и сдвига фаз φ:

$$\widetilde{u}_\tau^2 = \frac{1}{2}\left[U_{21}^2 + U_{22}^2 + U_{11}^2 + U_{12}^2\right] + \left(U_{12}U_{21} \pm U_{11}U_{22}\right)Sin\varphi Sin\alpha - \left(U_{12}U_{22} \pm U_{11}U_{21}\right)Cos\varphi Cos\alpha \ .$$

При произвольных равновероятных ориентации траекторий α и сдвиге фаз φ они принимают все значения от 0 до 2π с одинаковой плотностью вероятности :

$$dp(\alpha) = d\alpha / 2\pi \ ; \qquad dp(\varphi) = d\varphi / 2\pi \ .$$

Средние вероятные значения второго и третьего слагаемого при изменении любого из этих параметров в указанных пределах равно нулю, поэтому остается только первое слагаемое, состоящее из детерминированных и случайных величин:

$$\overline{u}_\tau^2 = \frac{1}{2}\left[U_{21}^2 + \overline{U}_{22}^2 + U_{11}^2 + \overline{U}_{12}^2\right].$$

Поскольку амплитуды тангенциальных скоростей электронов вдоль больших осей проекций их круговых траекторий не меняются, они детерминированы:

$$U_{11}^2 = U_{21}^2 = w^2R^2 \ .$$

Вероятные значения квадратов амплитуд тангенциальных скоростей электронов вдоль малых осей:

$$\overline{U}_{12}^2 = \overline{U}_{22}^2 = \int_0^1 w^2R^2Cos^2\gamma dp(\gamma) = \frac{w^2R^2}{2}\int_0^{\pi} Cos^2\gamma Sin\gamma d\gamma = \frac{1}{3}w^2R^2 \ .$$

Тогда ожидаемое значение квадрата средней тангенциальной скорости электронов относительно друг друга:

$$\overline{u}_\tau^2 = \frac{4}{3} w^2 R^2 . \qquad (16)$$

Подставив в выражение (13) полученные вероятные значения квадратов относительных тангенциальных скоростей (15) и (16), получим вероятное значение результирующей силы взаимодействия (в относительных единицах) двух атомарных зарядовых структур, равное нулю:

$$\overline{F} = 2\frac{\overline{u}_T^2}{c^2} - \frac{\overline{u}_\tau^2}{c^2} = 0 . \qquad (17)$$

Однако напомню, что все рассуждения проводились при допущениях:
- электроны считаются точечными зарядами, движущимися по круговым траекториям с неизменным радиусом вокруг центра ядра;
- изменение величины потенциала зарядов одного атома в пределах траектории зарядов другого атома не учитывалось;
- ориентация траекторий электронов считалась произвольной равновероятной.

Нарушение хотя бы одного из этих условий приводит к нарушению баланса электрических сил, способному вызвать взаимное притяжение или отталкивание в целом нейтральных атомов.

Максимальная величина этого динамического дисбаланса может быть достигнута при ориентации орбит всех электронов во взаимодействующих телах параллельно ортогональной плоскости, при противоположном направлении вращения. По сравнению с силой кулоновского взаимодействия зарядов сила дисбаланса может иметь порядок малости:

$$u^2 / c^2 \approx 10^{-4} \div 10^{-6} ;$$

где u – орбитальная скорость электронов.

Оценим возможную величину этой силы между двумя молярными объемами молекулярного водорода ($22{,}4 \cdot 10^{-3}$ м^3) на расстоянии 10 м. Количество электронов и протонов в каждом объеме:

$$n = 2N_A = 12 \cdot 10^{23} .$$

Общий объемный заряд электронов (или протонов):

$$Q = ne = 12 \cdot 10^{23} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 19{,}2 \cdot 10^4 K .$$

Кулоновская сила между объемным зарядами:

$$F_K = \frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = 3{,}68 \cdot 10^{10} \cdot 0{,}9 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-2} = 3{,}3 \cdot 10^{18} H .$$

Максимальная возможная величина силы динамического дисбаланса:

$$F_d = F_K \frac{u^2}{c^2} = 3{,}3 \cdot 10^{12 \div 14} H .$$

В то же время сила притяжения между этими объемами с массой $m = \mu = 2кг$:

$$F_G = Gm^2 / r^2 = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 4 \cdot 10^{-2} = 2{,}67 \cdot 10^{-12} H .$$

Величина этих сил отличается на 24-26 порядков, следовательно, даже незначительное отклонение от указанных условий способно вызвать дисбаланс электрических сил, обеспечивающий известную всем силу притяжения.

ВЫВОДЫ

В соответствии с представленными рассуждениями, между электрически нейтральными атомами вещества могут возникать силы притяжения за счет дисбаланса электрических сил взаимодействия ядер и орбитальных электронов. Это может служить причиной силы притяжения (гравитации) между любыми телами с атомарной структурой.

Независимо от того, является сила гравитации результатом дисбаланса электрических сил, или нет, создание такого дисбаланса путем нарушения произвольной равновероятной ориентации орбит электронов является средством управления силами взаимодействия между нейтральными телами с атомарной структурой, усиления сил притяжения или ослабления их вплоть до создания антигравитации.

Еще раз подчеркну, что эти выводы справедливы для всех теорий, предусматривающих зависимость электрического поля от квадрата тангенциальной скорости зарядов.

Литература:

1. С.А. Цикра. Нерелятивистское выражение силы, действующей на электрический заряд, инвариантное в различных ИСО.
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Т.2, Теория поля: М., «Наука», 1988.
3. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс, Фейнмановские лекции по физике, Т.5,6: М., «Наука», 1966.